

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-170016
(43)Date of publication of application : 04.07.1995

(51)Int.CI. **H01S 3/18**

(21)Application number : 06-229611 (71)Applicant : HEWLETT PACKARD CO
<HP>
(22)Date of filing : 26.09.1994 (72)Inventor : FOUQUET JULIE E
BRAUN DAVID M

(30)Priority

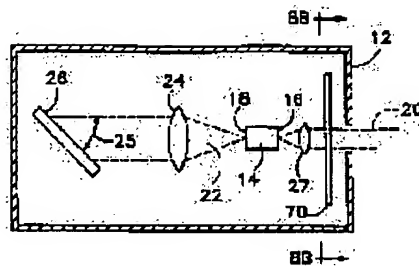
Priority	93 134424	Priority	08.10.1993	Priority	US
number :		date :		country :	

(54) METHOD AND DEVICE FOR OPTIMIZING OUTPUT CHARACTERISTIC OF TUNABLE EXTERNAL CAVITY-TYPE LASER

(57)Abstract:

PURPOSE: To expand the tunable range of an external cavity-type semiconductor laser, to increase laser output over a wide tunable wavelength range, to improve the operating lifetime and portability of the wide-band tunable laser, and further more to improve the controllability of the laser output characteristics.

CONSTITUTION: A laser tuning range is expanded by applying a reflection coating that is spectrally sufficiently flat to a front cut surface 16 of a semiconductor laser chip 14 with a reflectivity higher than that of a non-coated front cut surface by an external cavity-type laser 12. In addition to the expansion of the tuning range, the reflectivity of the increased front cut surface reduces a laser threshold current for the total wavelength of the laser. Although various kinds of compound coatings were applied to an output coupler 70 for changing reflectivity characteristic according to wavelengths, a reflectivity at the edge part of a laser tuning curve can be increased, without reducing the output power at the center wavelength of the tuning range, thus maintaining a high output power at the same time for each output wavelength which is selected and further increasing the laser tuning range.



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 公開番号

特開平 07-170016

(P07-170016A)

(43) 公開日 平成 7 年 7 月 4 日 (1995.07.04)

(51) Int.Cl.⁶

F I

テーマコード (参考)

H01S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 1 OL (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平 06-229611 (P06-229611)
(22) 出願日 平成 6 年 9 月 26 日 (1994.09.26)
(31) 優先権番号 134424
(32) 優先日 平成 5 年 10 月 8 日 (1993.10.08)
(33) 主張国 合衆国 (US)

(71) 出願人 590000400
ヒューレット・パッカード・カンパニー
(72) 発明者 ジューリ・イー・フォウクエット
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 7
0サン・カルロス, ベイ・ビュー・ドライブ・
1 5 9
(72) 発明者 デイヴィッド・エム・ブラウン
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 5 4 0
5サンタ・ロサ, ウェストミニスター・プレ
イス・4 8 0 5
(75) 代理人 弁理士 古谷 馨

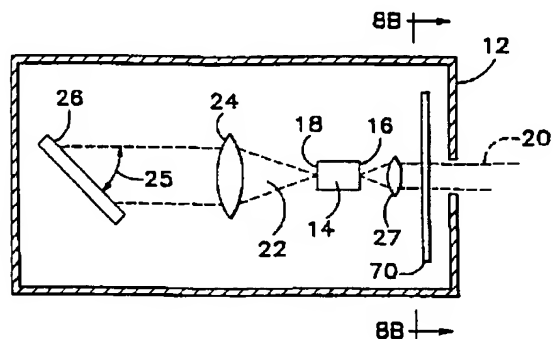
(54) 発明の名称 同調可能な外部空洞型レーザの出力特性を最適化するための方法と装置

(57) 要約

(修正有)

【目的】 外部空洞型半導体レーザの同調範囲を拡大し、広波長同調範囲にわたりレーザ出力を増大させ、広帯域同調可能レーザの動作寿命と携帯性を向上させ、さらにレーザ出力特性の制御性を向上させる。

【構成】 外部空洞型レーザ 1 2 で未コーティング前方切開面よりも反射率が高い半導体レーザチップ 1 4 の前方切開面 1 6 に、分光的に十分平坦な反射コーティングを施すことにより、レーザ同調範囲は拡大する。同調範囲の拡大に加えて、増大した前方切開面の反射率はレーザ全波長に対してレーザ閾値電流を減少させる。また波長に応じて反射率特性を変化させるために、出力カプラ 7 0 種々の複合コーティングを施したが、同調範囲の中央波長で出力電力を低下させることなく、レーザ同調曲線の端部での反射率を増大させる。これは選択された各出力波長に対し同時に高出力電力を維持しつつ、レー



(特開平 07-170016)

(1)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定の同調範囲内で、所定の出力電力でのレーザ光を生成するための前端と後端を有し、前端と後端の両方からレーザ光を放出する利得媒体と、利得媒体の前端でレーザ光を出力するための自然の固体-空気反射率を有する出力カプラと、利得媒体の後端から放出された異なる波長のレーザ光を利得媒体へ戻る方向に選択的に反射し、出力カプラから放出されるレーザ光の波長を制御するための同調手段と、同調範囲と出力電力を制御するために、レーザ出力カプラの自然な固体-空気反射率を変更するための手段とを具備した同調可能レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、一般的に同調可能なレーザに関し、特に、外部空洞型半導体レーザの出力特性の向上に関する。

【0002】

【従来の技術】

レーザは、単一で狭い波長の光が活性化により放出されるように設計することができる。しかしながら、多数の応用分野では可変で別個の波長を生成するレーザシステム（すなわち、同調可能レーザ）を必要としている。同調可能レーザは、ここ数年間、様々な光学現象を研究するために科学者や技術者によって開発され使用されてきた。例えば、通信システムにおいて、光ファイバは 1.3 μm および 1.55 μm 付近の波長で低損失を示す。それゆえに、この領域での研究開発はこれらの波長範囲のレーザ光を発生できる汎用のレーザを必要としている。

【0003】

しかし、従来の同調可能レーザ、例えば外部空洞型半導体レーザ、色中心レーザ、および同調可能色素レーザ等は、現在多くの研究開発の応用として必要とされる全波長範囲（例えば、1.32 \pm 0.1 μm および 1.55 \pm 0.1 μm ）にわたって確実に光を放出するわけではない。同調可能色素レーザは操作するのが難しく、市販されていず、そして色素が経時的に安定ではない。色中心レーザは 1.5 μm 付近の狭い波長範囲で同調可能であるものが利用できる。しかしながら、色中心結晶は、レーザ放射の発生を可能にする光学的特性が失われるのを避けるために常に非常に低温度に保たなければならない。従って、色中心レーザは不便であり、環境条件の広範囲にわたって安定ではない。更に、現在のレーザシステムで使用される色中心結晶は 1.3 μm 付近の波長を生成できない。外部空洞型半導体レーザは 1.3 μm と 1.5 μm 付近の両方が利用可能であるが、同調範囲が制限されるという妨げがある。

【0004】

(2)

同調範囲が制限されるということに付け加えて、現在の同調可能なレーザは出力電力も制限されている。例えば、各半導体レーザは、効率的に光を発生する（すなわち、レーザ発光する）ためにレーザに必要とされる電流量を意味する閾値電流を有している。光学的に励起されたレーザもまた閾値レベルを有している。閾値以下では、光出力は非常に効率が悪く、駆動電流からのエネルギーのほとんどが熱として失われる。閾値電流以上で発光は非常に強くなる。このことは、電気的あるいは光学的入力エネルギーのほとんどが、光エネルギーとしてレーザから現れるということを意味する。レーザ閾値が高いと、より多くの入力電力が熱として消費され、レーザ動作寿命を短くし、ピーク出力電力を低下させることになる。

【0005】

同調可能レーザの閾値は、レーザ出力波長に応じて変化する。普通、閾値は同調範囲の中央よりも外側端の方が高くなる。例えば、同調範囲の中央付近で高い閾値電流を有する典型的な半導体レーザは、通常、狭い同調範囲を示す。なぜなら閾値電流が中央波長に比較的近い最大許容動作電流を越えるためである。

【0006】

Fye に対する米国特許第 4,839,308 号に記述されているように、外部空洞型レーザは半導体（レーザ・チップ）のような利得媒体を使用する。レーザ・チップは、前後に切開面を持ち、後方の切開面は反射防止コーティングがなされている。レーザ・チップからの光は、後方の切開面を通過して外部空洞に入る。その空洞は、特定のレーザ波長をレーザ・チップに反射するプリズムや回折格子のような同調素子を含んでいる。この動作は、レーザに前方の切開面から選択可能な波長の発光をさせる。従って、レーザ・チップの前方の切開面からの光出力の波長は、回折格子の角度を変えて、制御できる。

【0007】

Nazarathy 他に対する米国特許第 4,942,583 号や Trutna, Jr. 他に対する米国特許第 5,140,599 号、および論文 "Spectral Characteristics of External-Cavity Controlled Semiconductor Lasers" IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-17, No. 1 (Jan 1981) が、同調可能な外部空洞型レーザについて記述している。しかしながら、上記のどの文献も、同調範囲の制限に関する問題に言及していない。

【0008】

従って、環境条件の変化に対して安定な広い範囲で同調可能で高い出力電力のレーザに対する要求が依然として存在する。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

よって、本発明の一目的は外部空洞型半導体レーザの同調範囲を拡大することである。

(特開平 07-170016)

(3)

【0010】

本発明の第二の目的は広波長同調範囲にわたってレーザ出力電力を増大することである。

【0011】

本発明の他の目的は広帯域同調可能レーザの動作寿命と携帯性を上げることである。

【0012】

本発明の他の目的はレーザ出力特性の制御性を高めることである。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は、出力カプラの反射率の向上によりレーザの同調範囲を増大させる。これにより広範囲の波長が効率的にレーザから放射される。本発明は、また同時に同調範囲を増加しながら各波長での出力電力を最大にするためにレーザ出力カプラの反射率をレーザ波長に応じて変化させることを可能にする。

【0014】

本発明によれば、外部空洞型レーザの帯域が増大される。従来の試みは、出力電力を増大させるためにレーザ後方の切開面の反射率を増加することで行われてきた。しかしながら、本発明は、レーザから出力することのできる波長範囲（同調範囲）を広げるために、前方の切開面（出力カプラ）の反射率を増加させるという斬新なアプローチをとっている。前方の切開面の反射率を変更することで、より広い波長範囲にわたって外部空洞にて、半導体チップはレーザ発光できることになる。

【0015】

本発明の第一の実施例においては、レーザ・チップの前方の切開面に施される反射コーティングは、所定の波長範囲でコーティングなしのレーザ・チップの反射率より高く、一般的に一定の（平坦な）反射率を有している。一様な反射率はレーザ帯域を増加させ、閾値電流を減少させる。平坦な反射コーティング、例えば全波長を等しく反射するシリコンと酸化アルミニウムの交互積層が、同調範囲を最大60%広げることが実証されてきた。

【0016】

本発明の第二実施例においては、同時に出力電力を最大にしながら、レーザ波長同調範囲を増大させるために、前方の切開面に複合反射コーティングが施されている。複合コーティングは、波長同調範囲の両端での反射率のみを増加させる。この改善は、同調範囲の中央の波長に対する出力電力を減少させることなく実施される。

【0017】

複合コーティングは、種々の材料の多重層を前方の切開面に施すことで形成される。典型的な多重層コーティングは、シリコンと酸化アルミニウムか二酸化シリコンのどちらかとの交互積層から成る。これらのコーティングは、波長に応じて前方の切開面の反射率を変化させる。これらは、普通、同調範囲を広げ、平坦な反射コーティ

(4)

ングよりも高いレーザ出力電力を維持するように設計される。半導体チップの前方の切開面とは異なり、多層コーティングを、外部レーザ空洞の同調可能な鏡（例えば、プリズムまたは回折格子）、または環状もしくは直線状空洞型レーザの独立出力鏡に施すこともできる。

【0018】

別法として、レーザ波長に応じて出力カプラの反射率が変化するよう、空間的に変化する反射率を持つ出力カプラを、別の位置に動かすことができる。このようにして、レーザは、各選択波長で最大出力電力を出すことができる。

【0019】

本発明の上記とその他の目的、特徴、および利点は、添付の図面を参照しながら進める本発明の好ましい実施例の、下記の詳しい説明から容易により明らかになるであろう。

【0020】

【実施例】

図1は、同調可能な外部空洞型レーザを示す概略図である。レーザ空洞は、レーザ利得媒体14、レンズ24、出力コリメータレンズ27、および反射同調素子26を含む。同調素子26は、通常、鏡、プリズム、回折格子である。本発明の一実施例において、利得媒体14は、前方の切開面16と後方の切開面18を有する半導体レーザチップからなる。同調可能レーザは、図1に示すシステムでは、レーザチップ14の前方の切開面16からなるレーザ空洞から光が放射される出力カプラを有する。

【0021】

図2は以前、図1に示したレーザチップ14の詳細な斜視図で、図3は正面図である。典型的な半導体レーザチップは、第一の不純物型のGaInAs接触層82と接続された第一金属接点28を備える。第一の不純物型のInP上部クラッド層84は、接触層82と活性領域62の間にある。第二不純物型のIn-P化合物下部クラッド層と基板34は、活性領域62と第二接点36の間にある。活性領域62は光を発生し、バルク層が量子井戸構造のどちらかを備えてもよい。半絶縁またはサイリスタ状に不純物を加えたInP32は、最大の発光を得るためには全駆動電流が活性領域を通して流れなければならないので、活性領域の周辺への電流の漏れを防止する。

【0022】

前方の切開面16と後方の切開面18は、それぞれ活性領域62の前後の両端を切断することにより生成される。前方の出力切開面16は、多重反射コーティング40（図4参照）を含む。半導体レーザは半絶縁プレーナ型埋め込みヘテロ構造（SIPBH）レーザが好ましく、レーザとして動作する場合が、1992年7月31日出願の同時係属出願第07/896,276号に記載されている。しかし、多くの他の型のレーザ構造や半導体レーザ材料

(特開平 07-170016)

(5)

(例えば、AlGaAs または AlGaInP) も使用できる。

【0023】

電流がレーザチップ14に注がれると、活性領域62で電子-正孔対の再結合により光が発生する。この光はそのチップ内の様々な方向に自然発生的な放射を生み出す。光が増幅されるには、導波管に沿って活性領域62の面内を伝わらなければならない。活性領域に励起された発光を集中させる帰還は、切開面16と18付近の半導体結晶のどちらかの端部での光の反射によって作り出される。半導体は高い屈折率を持っているので、反射コーティングなしでも、切開面16と18は半導体材料中に光の約30%を反射する。この30%の反射率は、単独の半導体レーザ・チップでのレーザ動作に十分な帰還をもたらす。

【0024】

低電流レベルでは、発光ダイオードを駆動するのと同じ過程で自然発光が発生する。しかし、電流レベルが上がると、ダイオード・レーザは励起発光(レーザ動作)が始まる閾値を通り過ぎる。一度電流が閾値レベルを通過すると、励起発光の結果、光強度が急激に上昇する。

【0025】

閾値以下では、光出力はあまり効率的ではなく、駆動電流からの殆どのエネルギーは熱として失われる。閾値以上では、発光はより効率が良くなる。つまり、閾値電流は半導体レーザの動作における重要なパラメータである。

【0026】

図1に戻って、レンズ24は半導体レーザ・チップ14の後方の切開面18から放射した光22を回折格子26上に導く。回折格子26は、唯一の波長が半導体レーザ・チップ14に適切な角度で帰ってくるように光を屈折する。つまり、光は半導体レーザ・チップ14の出力切り出し面16と回折格子26の間を前後に振動する。レーザ空洞の純利得は、回折格子26によって屈折され、半導体レーザ・チップ切開面に返された波長で最も高い。回折格子26に到達した波長のうちでより短いものとより長いものは空洞の側面に屈折されて、失われる。つまり、出力ビーム20の振動波長は回折格子26の角度25を調節することにより可変範囲内で同調させることができる。

【0027】

光をレーザ・チップの前方の切開面16と回折格子26の間で振動させるために、無反射(AR)コーティングが半導体レーザ・チップの後方の切開面18に施される。従来は、前方の切開面16には特別なコーティングは施されなかった。レーザ光が前方の切開面に当たると、半導体と空気との境界面が約30%の自然反射率を作り出す。この自然反射率は、適切な閾値電流で最大利得波長付近で発生するレーザに十分な光を反射により半導体材料中に返す。

(6)

【0028】

回折格子26が最大利得(すなわち、レーザが最高の利得を示す波長)から外れると、チップ利得は下がり、外部空洞型レーザの純利得が減少する。利得とは、光子がレーザ空洞内の移動単位距離当たり発生(増幅)し得る励起発光量である。普通、レーザ駆動電流を増加すると、利得は増える。波長が最大利得から十分に離れている場合、チップ利得は低く、損失を補うのに十分な利得はなく、レーザは発光しない。これらの波長、つまり利得曲線の中央より上と下の両方の波長が、所定の最大レーザ駆動電流に対するレーザ同調範囲の外側の境界を決定する。

【0029】

さらに説明を続けると、往復利得(前方の出力切開面から外部回折格子まで)が、往復損失を超えると、レーザは発振へと移行、あるいはレーザ発光するであろう。この振動条件は下記の振動しきい値方程式で表される。

【0030】

$$R_{oc} R_{back} \text{EXP} [2 (\Gamma g - \alpha) L_{chip}] = 1 \quad (1)$$

上式で、 R_{oc} は前方の出力カプラ鏡面電力反射率である。 Γ は光学的制限係数であり、“ g ” はセンチメートル当たりのチップ利得であり、“ α ” はセンチメートル当たりのチップ損失(制限効果も含む)であり、 L_{chip} はセンチメートル単位の半導体利得媒体の長さである。 R_{back} はレーザ利得媒体14に戻り接合される光の波長での反射同調素子26からの電力反射率である。出力結合とチップ長に依存する損失(αL_{chip})を除く全空洞損失は R_{back} 中に一まとめにされている。

【0031】

普通、設計者は空洞損失を最少にすることによって、可能な限り R_{back} を大きくしようとする。出力カプラ(例えば、レーザのコーティングされていない前方の切開面16)は、普通、半導体と空気との境界面でフレネルの反射式から計算される $R_{oc} = 0.3$ の反射率を有する。多数の外部空洞型同調可能レーザにとって、この R_{oc} の値は、レーザに中心波長で相対的に効率的な動作をさせるが、同調曲線の両端ではそうではない。実際、この R_{oc} の値は同調曲線の中央でさえも、一般的に最適値ではない。

【0032】

チップ利得は波長に強く依存し、レーザが最適の波長から外れるとより低い値に低下してしまう。結局、利得“ g ”は発振の閾値より低下して、レーザはもうこれ以上発振しなくなる。発振のために必要とされる最少利得は、 $g = (1/\Gamma)(\alpha - [1/\ln(R_{oc} R_{back})]) / 2 L_{chip}$ と定義される。

【0033】

レーザは最短波長でのカットオフから最長波長でのもう一つのカットオフまでの狭い同調範囲で、例えば、約40 nmの範囲で同調され得る。しかし、180 nm

(特開平 07-170016)

(7)

に等しいかそれより大きい同調範囲を有していることが望ましい。様々な手段（例えば、 Γ 、 L_{chip} および活性領域 62 の線幅の最適化等）が、波長のより広い範囲で利得を上げるために採用されてきたが、同調範囲は依然として受け入れ難い程に狭い。この問題は、レーザ空洞内の表面である、半導体媒体の後方の切開面 18 から典型的にアプローチされてきた。例えば、この後方の切開面の反射率の増加により、レーザの純利得はある波長で増やすことができる。しかし、利得としきい値電流の両方が他の波長で低下し、強く発振する閾値対波長同調曲線をもたらす。

【0034】

本発明では前方の切開面 16 (R_{oc}) の反射率を変化させることにより、同調範囲を増加させる。例えば、最高出力波長 1.55 μm を持ち、前方の切開面上に施された反射コーティングの無いレーザは、1.53 μm から 1.57 μm の同調しかできない。しかし、前方の切開面の反射率が増加すると、往復損失が減少する。このことは、レーザがもっと極端な（すなわち、1.55 μm の最高出力波長からかなり離れた）波長で動作することを可能にする。

【0035】

ある好ましい実施例では、コーティングは平坦な反射率を持つように、または“理想的な”コーティング曲線に合うように設計される。“理想的な”コーティング曲線は、出力カプラ・コーティングが施される前に、外部空洞にある利得媒体の測定値を使用して生成される。純利得対電流曲線からの情報が、種々の電流に対する“理想的な”コーティング反射率を作り出すために使用される。それから、“理想的な”モデルと調和するコーティング設計が導出される。

【0036】

さらに説明を続けると、純利得 ($\Gamma g - \alpha$) は波長に依存し、一般に電流と共に増加する。 R_{oc} の低減は、レーザ発光のために十分高い純利得を達成するために必要な閾値電流を上げ、 R_{oc} の増加は必要な閾値電流を下げる。閾値電流が異常に高くなると、同調範囲の端部に到るので、閾値電流の低減は同調範囲を広げる。つまり、 R_{oc} を増加する単純な平坦反射コーティングは、同調範囲を（例えば、図 6 でコーティング前の曲線 42 からコーティング後の曲線 44 に、また、図 7 でコーティング前の曲線 46 からコーティング後の曲線 48 に）広げる。

【0037】

しかし、平坦コーティングで R_{oc} を増加することは利得曲線の中央付近のレーザ出力電力を低下させる可能性がある。これは出力電力を予測する下記の式で示される。まず、利得飽和は下記のように近似される。

【0038】

$g = g_0 / (1 + P/P_{sat})$ ここで、 P は循環する（内部の）電力であり、 P_{sat} は循環飽和電力である。安定状態

(8)

で、振動閾値方程式 1 で以前に述べたようにレーザ内部の循環電力は一定である。レーザ出力電力 P_{out} は、循環電力 P と出力カプラ伝送の積に等しく、以下のようになる。

【0039】

$P_{out} = (1 - R_{oc}) P$ 媒体出力カップリングについては下記の式が得られる。

【0040】

【数 1】

$$(P_{out}/P_{sat}) = (1 - R_{oc}) \left\{ \frac{2\Gamma g_0 L_{chip}}{\ln(1/R_{oc}R_{back}) + 2\alpha L_{chip}} - 1 \right\} \quad (2)$$

【0041】

下記の式は、出力電力を、高利得で高出力カプラ伝送（低い R_{oc} ）に対する半導体レーザ・パラメータの関数として記述している。

【0042】

【数 2】

$$(P_{out}/P_{sat}) = (1 - R_{oc}) \frac{\sqrt{R_{back}}}{(\sqrt{R_{oc}} + \sqrt{R_{back}})(1 - \sqrt{R_{oc}R_{back}})} (\Gamma g - \alpha) L_{chip} + \ln \sqrt{R_{oc}R_{back}}$$

(3)

【0043】

数式 (3) は 4 つの変数、つまり、 L_{chip} 、 R_{oc} 、 R_{back} 、および $\Gamma g - \alpha$ （一つの変数としてまとめられる）を含んでいる。 L_{chip} は物理的なチップ長であり、容易に測定できる。各波長に対して R_{oc} のどの値が P_{out} を最大にするかを求めるために、まず、残りの未知数 R_{back} と $\Gamma g - \alpha$ が、各波長に対して決定されなければならない。一度これらの値が決定されると、 P_{out} を最大にする出力カプラ反射率 R_{oc} は、 R_{oc} に関する P_{out} の微分係数（数式 (2) または数式 (3)）をゼロにすることにより決定される。しかし、実際には、 P_{out} は数式 (3) を使って数値的に最適化されてきた。最適な R_{oc} 対波長のグラフを得るために、どちらの方法も各波長毎に使用される。

【0044】

λ と駆動電流 (I)、および R_{back} の関数として ($\Gamma g - \alpha$) を決定するために、最初に裸のチップの閾値を測定する。次に、外部空洞型レーザの無反射コーティング・チップの閾値を波長の関数として測定する。それから、後方の切開面の反射率 R_{back} は外部空洞型レーザでは以下のようにして決定される。式 (1) は下記のように書き直すことができる。

【0045】

【数 3】

$$\frac{\Gamma g - \alpha}{I_{th}} = \frac{1}{2L_{chip}I_{th}} \ln \left(\frac{1}{R_{oc}R_{back}} \right) \quad (4)$$

【0046】

閾値 ($(\Gamma g - \alpha) / I_{th}$) での単位電流当たりの純利

(特開平 07-170016)

(9)

得はそのチップ固有の値であり、チップが単独であるか、最小のしきい値が得られる波長に設定された回折格子と共に空洞にあるかには依存しない。つまり、閾値での単位電流当たりの純利得は一定であると仮定し、裸のチップに対して評価された式(4)の右辺と、最小の閾値電流しか必要としない波長に設定されたECLのチップに対して評価された数式(4)の右辺とを等しいと置くことによって、 R_{back} が決定される。裸のチップの L_{chip} と I_{th} および空洞での最小 I_{th} が測定され、裸のチップに対する R_{back} と R_{oc} は半導体と空気との境界面で与えら

【0047】

さて、外部空洞型レーザに対して波長と駆動電流の関数として、 $\Gamma g - \alpha$ を求めなければならない。純利得 $\Gamma g - \alpha$ は波長だけでなく電流とともに変化することを想起することが重要である。最も単純な近似で、純利得は電流に比例すると仮定され、そのため各波長で、次式が成立する。

【0048】

$$m = (\Gamma g - \alpha) / I \quad (5)$$

上式で、 m は比例定数であり、 I は駆動電流である。電流で割った純利得 (m) は、たった今計算した R_{back} と閾値同調曲線 $I_{th}(\lambda)$ を使って、数式(4)から波長毎に外部空洞型レーザに対して求められる。 $m(\lambda)$ が分かると、任意の波長での任意の駆動電流に対する純利得 $\Gamma g - \alpha$ が数式(5)から計算される。 $m(\lambda)$ を求めるための他の方法も又可能である。

【0049】

次に、 R_{back} と $m(\lambda)$ が上記の半導体出力電力式(3)で使用される。電流が選択され、 m から純利得が得られる。各波長で、出力電力 (P_{out}) が R_{oc} に関して最適化される。そして、各仮定された電流毎に(例えば、100mAの最大動作電流を含む)最適な R_{oc} 対 λ のグラフが作成される。次に、一般的に最適の R_{oc} 曲線に適合するように、コーティングが設計される。思いがけない程低い反射率はしきい値電流を大幅に増加し、したがって、同調範囲を減少させるので、普通、コーティングは最適の R_{oc} 対 λ 曲線で得られる反射率より多少高めの反射率に設計される。

【0050】

図4は5層の反射コーティング(均等な縮尺ではない)を持つ、図1に示したレーザ・チップの断面図である。5層の反射コーティングは、上記より得られた最適の R_{oc} 対 λ 応答を生成するために使用される。活性領域62はレーザ導波管63の中心部を形成する。後方の切開面18は図では反射または無反射コーティングで被覆されていないが、一般的に、そのようなコーティング

(10)

が使用される。

【0051】

前方の切開面16は、本発明に係わる反射コーティング40で被覆されている。以下に詳述されるように、反射コーティングは単層または図4に示すように多層で構成される。層64、66、68、70、72は前方の切開面16に施される種々の材料を表す。層の数、各層の厚さおよび各層に使用される材料は、異なる反射対波長特性を生み出すように変更される。

【0052】

例えば、この概念の簡単な実現は、平坦な反射率を得るために前方の切開面16に、3層コーティング(例えば、層64、66、68)を施すことによって得られる。そのコーティングは、自然に得られる30%の半導体-空気による反射率を、適正に選ばれた層の厚さによる60%の一定の反射率に増加させる。この増加した前方の切開面の反射率は、図6において、短波長端は1.46 μm で、長波長端は1.63 μm というように、レーザ同調範囲を増大する。しかし、前方の切開面の自然の固体-空気の反射率は、既存で希望のレーザ特性に依存する40-100%の範囲内のどこにでも増加させることができる。

【0053】

図5は実際の“平坦な”反射コーティングの反射率曲線を示すグラフである。このグラフから分かるように、反射率は1100-1800nmの波長範囲で約60%の実質上一定な値を維持している。理論的には、より高い屈折率の材料の1/4波長(0.25 λ)の厚さの単層(すなわち、層64)は、反射率を増加させるために前方の切開面に施されうる。1/4波長の光学的積層は、平坦な反射率コーティングを実現するもう1つの方法である。

【0054】

二種類の材料による2層からなる1/4波長の光学的積層は、反射率を増加するために使われ、各層は1/4波長の光学的厚さ(0.25 λ)を有している。平坦な反射コーティングは、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、シリコン(Si)、および二酸化シリコン (SiO_2) といったような材料で製造できる。例えば、酸化アルミニウムは、半導体レーザ製造でよく使われる材料であるインジウム・リン化合物 (InP) やインジウム・ガリウム・砒素・リン化合物 (InGaAsP) によく接着することが知られている。したがって、 Al_2O_3 は、レーザ・チップ14の前方の切開面16に対する最初の層として容易に利用できる。

【0055】

図6と図7は、二つの異なるレーザ・チップの閾値電流対波長のグラフである。米国特許出願第 07/896,276号で述べられているような半導体レーザが使用されているが、いかなる種類の半導体レーザでも同様の結果を

(特開平 07-170016)

(11)

示す。図6を参照すると、 R_{∞} を増大する利点は、各々未コーティングとコーティングされた前方の切開面16を表す“同調曲線”42と44を比較することにより、理解できる。同調曲線は波長の関数として、チップを発振するに至らしめるために必要な閾値電流を示す。上記のように、チップの動作寿命を延ばし、動作電流と波長のより広い範囲でレーザを駆動する能力を向上するために、より低い閾値電流が望ましい。曲線42は反射率 $R_{\infty}=0.31$ であるコーティング無しの方の出力切開面を持つレーザに対する同調曲線である。曲線44は反射率 $R_{\infty}=0.61$ である平坦な反射コーティングが前方の出力切開面に施された後に、同じレーザでもって得られる。反射コーティングは、レーザの同調範囲を100mAの駆動電流で、130nmから170nmに広げたことになる。つまり、レーザの同調範囲は約30%広げられることになる。

【0056】

図7は図6の曲線を生成するために使われたレーザ・チップより品質の劣る第二のレーザ・チップに対する閾値電流対波長を示すが、品質の劣るレーザ・チップは同調範囲がかなり狭く、発振に到る電流がより多く必要となる。曲線46は自然の反射率 $R_{\infty}=0.31$ であるコーティング無しの方の出力切開面に対する曲線であり、曲線48は反射率 $R_{\infty}=0.61$ の同じレーザに対する閾値電流を示す。100mAの駆動電流で、同調範囲が100nmから162nmに広がったことが分かる。つまり、レーザの性能が、当初狭かった同調範囲のレーザ・チップで約60%向上した。結局、増加された反射率は、出力および処理特性を変えることで半導体レーザの性能を向上させる。

【0057】

図6と図7の両方において、前方の出力切開面の反射率が増加すると、レーザを発振へと移行させるために必要な閾値電流はかなり減少することに注目されたい。例えば、図7において、1550nmで曲線46のしきい値電流は約40mAであるのに、一方、曲線48のしきい値電流は25mA以下である。したがって、前方の出力切開面の反射率の増加は、レーザ閾値電流を低減することも実証されたことになる。別の型のレーザ（例えば、色素レーザや固体レーザ）では、活性のあるレーザ媒体は、別のレーザまたはフラッシュ・ランプの光で励起されるであろう。出力カプラの反射率を増加することで、入力励起光の閾値が低減され得る。したがって、フラッシュ・ランプは強力である必要はなく、励起レーザに供給する電力はより少なくてもよい。

【0058】

平坦な反射コーティングは同調曲線の中央付近の波長で出力電力を低下させる可能性がある。例えば、中央の波長でレーザ・チップは、最大可能出力電力を生み出すために、 $R_{\infty}<0.30$ を必要とするであろう。した

(12)

がって、反射率の増加はレーザの最適出力電力を低下させ得る。この状況の修正のために、図4の層64、66、68、70、および72で示されるように、中央付近の波長でより低い反射率を維持しながら、レーザ帯域幅の外側の波長で反射率を増加するように、別設計の光学的積層が前方の出力切開面に施される。この積層はレーザの同調範囲を広げ、同時に、中央の波長で高い出力電力を維持する。

【0059】

図8を参照すると、平坦な反射コーティング（図5参照）とは逆に、Fabry-Perot型のフィルタ・コーティングの反射率は、波長に応じて大きく変化する。特別な反射率対波長特性を得るためのFabry-Perot型のフィルタの設計は、“Design of Multilayer Filters by Considering Two Effective Interfaces”, Journal of the Optical Society of America, Volume 48, no. 1 (Jan. 1958) pp.43-50の中でS.D. Smithにより論じられており、参照により本明細書に合体する。S.D. Smithはこれらのフィルタを全誘電体干渉フィルタと呼んでいる。出力電力を最適化する反射特性を生成する方法は前述した。

【0060】

曲線47と49は各々4層と5層のコーティングに対する反射率対波長特性を示す。曲線47で示す4層コーティングは30-35%の間の中央反射率で始まり、端部の反射率は90%まで増大する。又、層5の厚さを変えることによって、曲線47と49の間の反射率範囲を賄えられる。同調範囲の両端での反射率が平坦なコーティング反射率を超えると、これらの複合コーティングは、さらに、平坦な反射コーティング以上にレーザの同調範囲を広げる。

【0061】

多層（図4参照）は、フィルタ特性を合わせるために使用される。例えば、5層曲線49は4層曲線47より、中央の波長でより低い反射率を持つ。図8に示すように半導体レーザ上にFabry-Perot型のフィルタを作り出すための好ましい材料は、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、シリコン(Si)、および二酸化シリコン (SiO_2) の様々な組み合わせである。例えば、 Al_2O_3 とSi、Siと Al_2O_3 、 SiO_2 とSi、またはSiと SiO_2 の組み合わせは、図8と図9に示す反射率効果を持つ。4層コーティングに対しては、 $1/4$ 波長光学的厚さ (0.25λ) の Al_2O_3 の層（図4の層64）、 1 波長光学的厚さ (1λ) のSi（図4の層66）、 $1/4$ 波長光学的厚さ (0.25λ) の Al_2O_3 の層（図4の層68）、および $1/4$ 波長光学的厚さ (0.25λ) のSi（図4の層70）を含む積層が施される（すなわち、 $0.25\lambda \text{ Al}_2\text{O}_3 / 1\lambda \text{ Si} / 0.25\lambda \text{ Al}_2\text{O}_3 / 0.25\lambda \text{ Si}$ ）。図8の曲線49を生成する5層コーティングは、 $0.25\lambda \text{ Al}_2\text{O}_3 / 1\lambda \text{ Si} / 0.25\lambda \text{ Al}_2\text{O}_3 / 0.25\lambda \text{ Si} / 0.25\lambda \text{ Al}_2\text{O}_3$ である。他のコーティング設計も可能であ

(特開平 07-170016)

(13)

る。

【0062】

曲線50で示す反射率特性を持つ5層コーティングは、 Al_2O_3 の追加層を有する4層コーティングからなる。この五番目の層の厚さは0.01 λ と0.25 λ の間で可変である。第五層の厚さを変えることで、中央波長の反射率の微調整が可能である。例えば、曲線50、51、および52は各々、0.05 λ 、0.10 λ 、および0.15 λ の第五層の厚みを持つ5層コーティングを示している。これは様々なフィルタ特性を生成する際のすぐれた解答を提供している。

【0063】

図13は裸の出力切開面と波長に依存する反射コーティングを有する出力切開面を持つ外部空洞型レーザの出力電力対波長応答を比較したグラフである。曲線8は自然反射率31%の裸の出力切開面を持つ外部空洞型レーザの出力応答を示す。曲線86は図8に示すものと同様の、波長依存のコーティング付きの出力切開面を持つ外部空洞型レーザの出力応答を示す。外部空洞型レーザの出力電力は駆動電流100mAで測定されたものである。

【0064】

波長依存の反射コーティングの出力電力(曲線86)は、中心波長1508nmで約14,000 μW の最大電力出力を持つ釣り鐘型曲線を形成することが分かる。しかし、曲線88は最大となる波長で、約7,000 μW の最大電力出力を持つ。

【0065】

出力カブラの波長選択性をさらに高めるために、 Al_2O_3 をもう少し低い屈折率の材料、例えば、二酸化シリコン(SiO_2)で置換できる。図9は二酸化シリコンを使った場合の反射率対波長曲線を示す。曲線56と58は各々4層と5層のコーティングに対する反射率特性を示す。例えば、5層コーティングは、0.25 λ SiO_2 /1 λ Si /0.25 λ SiO_2 /0.25 λ Si /0.25 λ SiO_2 で構成されている。二酸化シリコンは、酸化アルミニウムより急峻な反射率特性を持つフィルタを生成することが分かる。この急峻なフィルタ特性は、一般に、反射コーティングにおいて、作り出すのが難しいパラメータである。

【0066】

図4に示す反射コーティングは、蒸発器内で前方の切開面16上に蒸着される。しかし、出力カブラ反射率を増加する方法は、同調レーザの形式によって変わる。例えば、色素レーザやチタン混入サファイヤでできた同調可能な固体レーザにおいて、反射コーティングはガラスに施すのが最もよさそうに思われる。そして、そのガラスは、正しい反射特性を得るために独立の出力カブラとして、レーザの前に置かれる。

【0067】

反射コーティングは、同じ一般的な概念に従って、半

(14)

導体材料の上に直接行うだけでなく、ガラス上にも蒸着することができる。しかし、層の微細な厚さや数は異なるであろう。様々な材料が反射コーティングに使えるが、一般的に、層状の材料が最も効果的であることは分かっている。もう一方で、反射率を最適化し、続いて同調範囲を広げるために、環状空洞型レーザの出力鏡を多層で被覆することも可能である。現在のレーザの性能特性を向上させるために、外部空洞型レーザの同調可能鏡(例えば、プリズムまたは回折格子)、環状空洞型レーザの出力鏡、またはどのようなレーザ鏡にでも、上記の多層コーティングを施すことも可能である。

【0068】

前に、図8と図9で示したように、反射率フィルタに施した反射コーティングは、レーザ出力特性を最大にするために波長に応じて変化する。もう一方で、空間的に変化する反射率特性を持つ出力カブラの位置を調整することにより、反射率を変えることができる。

【0069】

例えば、図10は独立した線形出力カブラ70を追加した、図1に示した外部空洞型レーザの概略図である。前方の切開面16は、この場合にはAR被覆されることが最もよさそうに思われる。図11は、図10R>0の出力カブラ70の側面図である。出力カブラは、光線20に対して垂直に入射する位置に置かれる。出力カブラの反射率は第一終端72での0%から第二終端74での100%まで変化する。可変反射率フィルタは、基板上に特定の反射コーティングと蒸着法を使用するか、または、それぞれ特定の反射率を持つ直線または円形の独立した小さい区域に適正に置くことにより、構成されるであろう。

【0070】

図10に示す外部空洞型レーザは以下のように動作する。特定のレーザ波長は、回折格子26の角度25を変えることにより選択される。それから、適切な反射率の出力カブラ上の領域が光線20の前に置かれるまで、出力カブラ70は光線20に垂直な方向で横に動かされる。上記のように(例えば、式(3)参照)最適の出力電力を生み出す所定の動作電流での理論的な反射率を先ず決定することにより、適切な反射率を選択される。それから、最適の反射率を持つ出力カブラ70の位置が光線20の前で動かされる。実際には、反射率は、経験的に出力電力が最適になるように変化させられるであろう。

【0071】

図12は可変反射率出力カブラのもう一つの実施例である。環状出力カブラ78は、中心回転軸80の周りを時計方向か半時計方向に回転される。最適の反射率を持つ出力カブラ78上の領域が光線20の前に位置するように、出力カブラ78を回転させる。従って、カブラ74と78によって与えられた有効反射率を変える

(特開平 07-170016)

(15)

ことによって、最大出力電力が波長の広い範囲にわたって提供される。好ましい実施例で本発明の原理を記述し図示したが、その原理から逸脱することなく、本発明の配置や細部の変更が可能であることは明白である。前記の特許請求の範囲の精神及び範囲に含まれる全ての変更及び変形を特許請求する。

【0072】

以下に本発明の実施態様を列挙する。

【0073】

1. 所定の同調範囲内で、所定の出力電力でのレーザー光を生成するための前端と後端を有し、前端と後端の両方からレーザー光を放出する利得媒体と、利得媒体の前端でレーザー光を出力するための自然の固体-空気反射率を有する出力カプラと、利得媒体の後端から放出された異なる波長のレーザー光を利得媒体へ戻る方向に選択的に反射し、出力カプラから放出されるレーザー光の波長を制御するための同調手段と、同調範囲と出力電力を制御するために、レーザー出力カプラの自然な固体-空気反射率を変更するための手段とを具備した同調可能レーザー。

【0074】

2. 利得媒体は、前後の切開面を有し所定の閾値電流以上でレーザー光を生成する半導体レーザーで構成されることを特徴とする前項1記載のレーザー。

【0075】

3. 出力カプラの反射率を変更するための手段は、また様々なレーザー光波長に対する閾値電流をも減少させることができることを特徴とする前項2記載のレーザー。

【0076】

4. 出力カプラは半導体レーザーの前切開面で構成され、出力切開面の反射率を変更するための手段はその切開面に付着されたコーティングを含むことを特徴とする前項2記載のレーザー。

【0077】

5. 利得媒体、出力カプラ、および同調手段は外部空洞型レーザーを構成し、出力カプラは前記レーザーの第一の端部からレーザー光を放出することを特徴とする前項1記載のレーザー。

【0078】

6. 増大された反射率手段は、光波長とは独立にほぼ同じ割合の光を反射する分光的に平坦な反射コーティングを具備したことを特徴とする前項1記載のレーザー。

【0079】

7. 反射率を変更するための手段は、レーザー光波長に応じて可変割合のレーザー光を反射する複合反射コーティングを具備したことを特徴とする前項1記載のレーザー。

【0080】

8. 反射率を変更するための手段は、レーザー同調範囲内の全波長に対して所定のレーザー活性化電流で、レーザー出力を最大にすることを特徴とする前項1記載のレ

(16)

ザ。

【0081】

9. 反射率を変更するための手段は、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、二酸化シリコン (SiO_2)、およびシリコン (Si) の物質の任意の組み合わせを含むコーティングを具備し、各物質は個別の層で出力カプラに施されることを特徴とする前項1記載のレーザー。

【0082】

10. コーティングは酸化アルミニウム (Al_2O_3) とシリコン (Si) の交互積層を具備し、酸化アルミニウムの第一層は1/4波長の光学的厚みを有し、シリコンの第一層は1波長の光学的厚みを有し、後続する各層は1/4波長の光学的厚みを有することを特徴とする前項9記載のレーザー。

【0083】

11. コーティングは二酸化シリコンとシリコンの交互積層を具備し、二酸化シリコンの第一層は1/4波長の光学的厚みを有し、シリコンの第一層は1波長の光学的厚みを有し、後続する各層は1/4波長の光学的厚みを有することを特徴とする前項9記載のレーザー。

【0084】

12. 出力カプラの位置は利得媒体に関連して変更することができることを特徴とする前項1記載のレーザー。

【0085】

13. 出力カプラは空間的に変化する反射率を有し、利得媒体に関連した出力カプラの位置はレーザー光反射率の量を決定することを特徴とする前項12記載のレーザー。

【0086】

14. 所定の同調範囲内で、所定の出力電力においてレーザー光を生成するためのレーザー利得媒体を設けるステップと、外部空洞型レーザーからレーザー光を出力するための第一の反射率を有する出力カプラを設けるステップと、どの波長のレーザー光が出力カプラから放出されるかを制御するためにレーザーを選択的に同調するステップと、前記レーザー同調範囲と外部空洞型レーザーから出力される前記レーザー出力電力のうちの少なくとも一つを制御するために、第一の反射率に関して出力カプラの反射率を変更するステップとから構成される同調可能な外部空洞型レーザーの出力特性を変化させるための方法。

【0087】

15. 各同調可能波長でレーザーの出力電力を増大させるために、出力カプラの第一の反射率が増えらることを特徴とする前項14記載の方法。

【0088】

16. レーザー同調範囲を拡大するために第一の反射率が増えらることを特徴とする前項14記載の方法。

【0089】

17. レーザー同調範囲と各波長でのレーザー出力電力が同時に増加させるために、出力カプラの第一の反射率が

(特開平 07-170016)

(17)

変更されることを特徴とする前項 14 記載の方法。

【0090】

18. レーザはほぼ釣り鐘型の電力対波長曲線を有し、曲線の中央付近の波長で最高の出力電力が生成され、波長が曲線の中央からより遠くへ移動するにつれて出力電力レベルが連続的により低くなることを特徴とする前項 14 記載の方法。

【0091】

19. 利得曲線の中央付近の波長に対して出力切開面の反射率が最低となり、利得曲線の中央から離れた位置での波長に対してその反射率がより大きくなるために、出力カブラの反射率をレーザ利得曲線と整合させるステップを含むことを特徴とする前項 14 記載の方法。

【0092】

20. 出力切開面の反射率を増加させることで、利得媒体内で発振するために各レーザ波長に対して必要とされる関連した閾値電流を減少させることを特徴とする前項 14 記載の方法。

【0093】

21. 波長選択可能素子と、それぞれ既知の出力カブラ反射率を有する一組の波長に対する所定閾値でレーザ発光するために十分高い所定の純利得を有し、同調範囲を生み出し、どの波長の光がレーザから出力されるかに応じてレーザ閾値が変化する利得媒体を設けるステップと、所定の閾値で導出された一組のデータを使用して、前記同調範囲内の各波長に対するレーザ閾値で純利得を計算するステップと、仮定した励起レベルに対して計算されたレーザ純利得を使用して、同調範囲内の様々な波長での出力カブラの反射率の値を決定するステップと、決定された出力カブラの反射率の値に類似した反射率対波長関係を有する反射コーティングを出力カブラ上に施すステップとから構成される外部空洞型レーザの出力特性を最適化するための方法。

【0094】

【発明の効果】

本発明は上述のように構成したので、出力カブラの反射率の向上によりレーザの同調範囲を増大させることが可能になり、これにより広範囲の波長が効率的にレーザから放射される。また同時に、レーザ出力カブラの反射率をレーザ波長に応じて変化させることにより、同調範囲を増加しながら各波長での出力電力を最大にすることが可能となり、又、閾値電流を低減することにより、熱損失が低減し、環境条件の変化に対して安定動作が可能となり、レーザの動作寿命を延ばすことが可能になるという効果がある。

(18)

【図面の簡単な説明】

【図 1】 外部空洞型レーザの一般的構成を示す概略図である。

【図 2】 図 1 の外部空洞型レーザに使用される従来技術の半導体レーザ・チップの斜視図である。

【図 3】 図 2 に示す半導体レーザ・チップの正面図である。

【図 4】 本発明に係わる 5 層反射コーティング付き出力切開面を示す図 3 の切断線 3 C - 3 C に沿った断面図である。

【図 5】 本発明に係わる公称平坦な反射コーティングにおける実際の反射率対波長応答を示すグラフである。

【図 6】 本発明に係わる平坦な反射コーティングを第一の半導体チップの前方の切開面に施したことによるしきい値電流の結果を示すグラフである。

【図 7】 本発明に係わる平坦な反射コーティングを第二の半導体チップの前方の切開面に施したことによるしきい値電流の結果を示すグラフである。

【図 8】 本発明に係わる酸化アルミニウムとシリコンの多層反射コーティングにおける反射率対波長応答を示すグラフである。

【図 9】 本発明に係わる二酸化シリコンとシリコンの多層反射コーティングにおける反射率対波長応答を示すグラフである。

【図 10】 独立した可変反射率出力カブラを備えた、図 1 R> 1 の外部空洞型レーザを示す概略図である。

【図 11】 図 10 に示す出力カブラの側面図である。

【図 12】 回転型可変反射率出力カブラの側面図である。

【図 13】 裸の出力切開面と複合反射コーティングを施した出力切開面を有する外部空洞型レーザの出力電力対波長応答を示すグラフである。

【符号の説明】

12. 外部空洞型半導体レーザ

14. 半導体レーザ・チップ

16. 前方の切開面

18. 後方の切開面

20. 出力レーザ・ビーム

24. レンズ

26. 回折格子

27. 出力コリメータレンズ

40. 多層反射コーティング

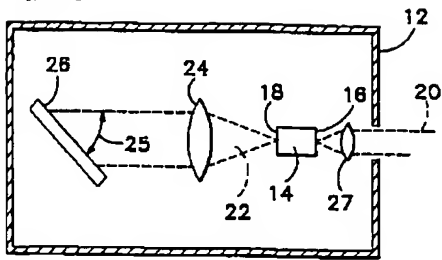
62. 活性領域

70. 線形出力カブラ

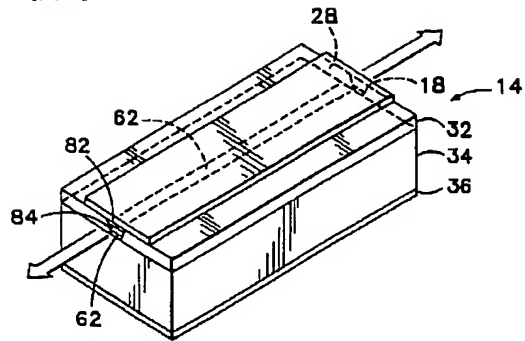
78. 環状出力カブラ

(特開平 07-170016)

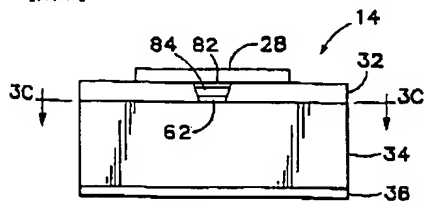
【図1】



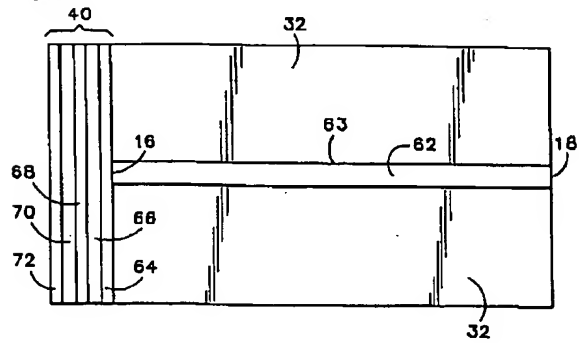
【図2】



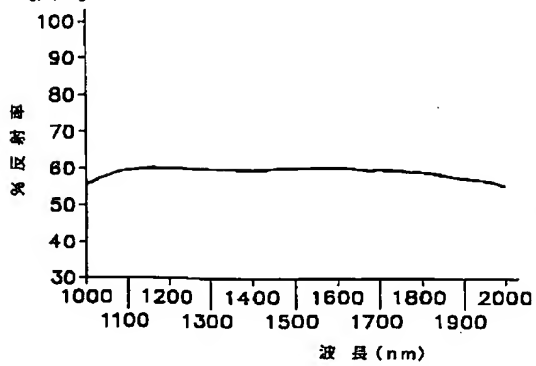
【図3】



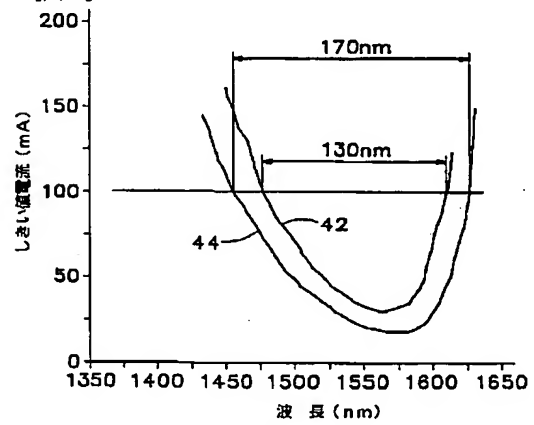
【図4】



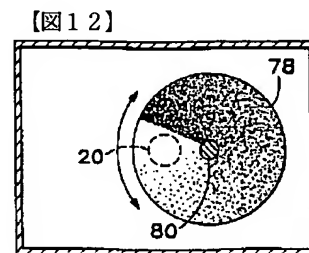
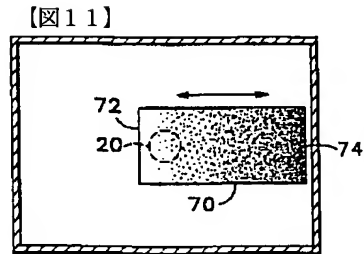
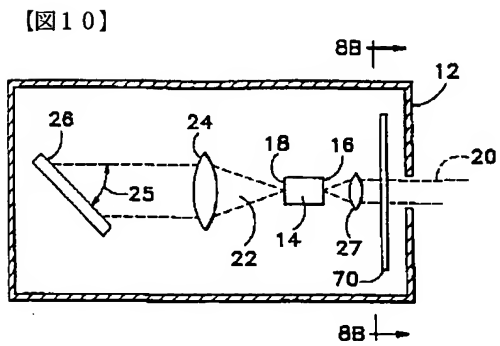
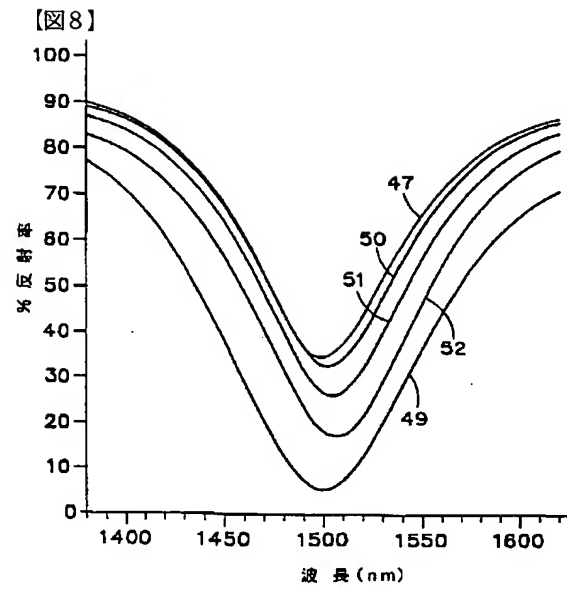
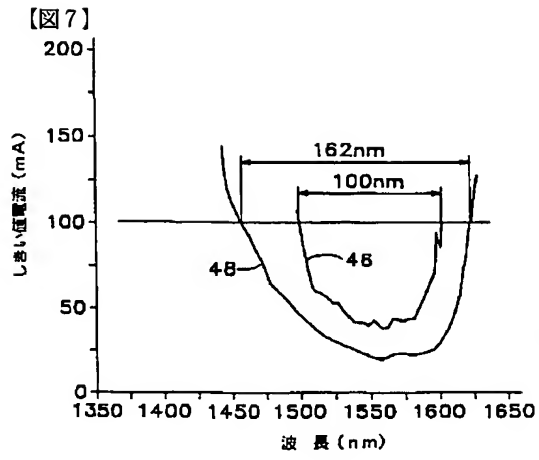
【図5】



【図6】



(特開平 07-170016)



(特開平 07-170016)

